

[54] PREDICTED MOTION WIND TURBINE TOWER DAMPING

[75] Inventors: **Kermit I. Harner**, Windsor; **John P. Patrick**, South Windsor, both of Conn.; **Joseph M. Kos**, Holyoke, Mass.

[73] Assignee: **United Technologies Corporation**, Hartford, Conn.

[21] Appl. No.: 364,707

[22] Filed: Apr. 2, 1982

[51] Int. Cl.³ F03D 9/00; F03D 7/04

[52] U.S. Cl. 290/44; 290/55; 416/30; 416/35; 416/41; 416/43

[58] Field of Search 290/44, 55; 416/30, 416/35, 41, 43

[56] References Cited

U.S. PATENT DOCUMENTS

4,160,170	7/1979	Harner et al.	290/44
4,161,658	7/1979	Patrick	290/44
4,189,648	2/1980	Harner	290/44
4,193,005	3/1980	Kos et al.	290/55 X

Primary Examiner—J. V. Truhe

Assistant Examiner—Terry Flower

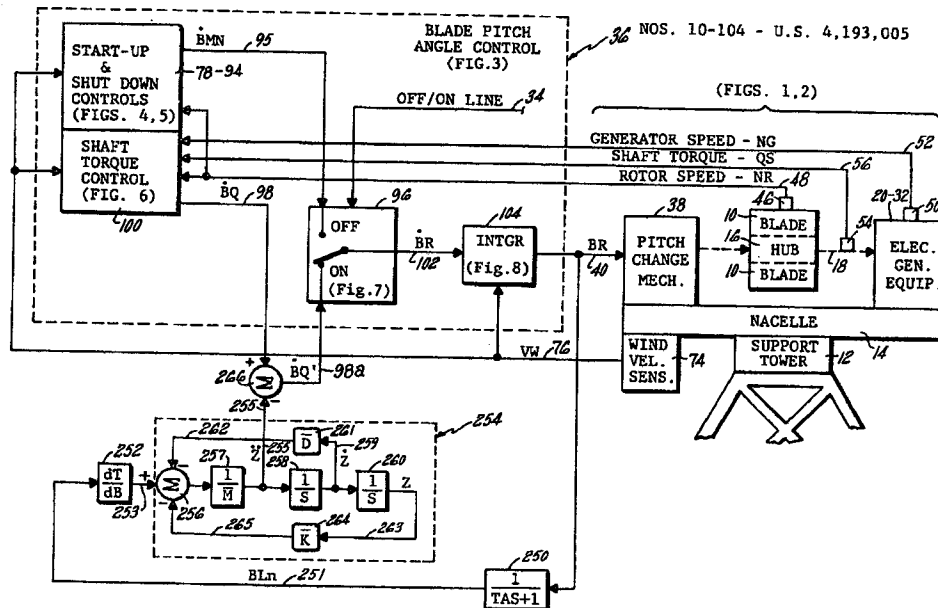
Attorney, Agent, or Firm—M. P. Williams






[57] ABSTRACT

Damping of the primary bending mode of a tower (12) mounting a wind turbine having a control (36) for providing a pitch blade angle reference signal (40) to modulate the pitch of the turbine blades (1) through a pitch change mechanism (38) for constant power is provided by generating the pitch blade angle reference signal as the integral (104) of the summation (266) of a torque/power controlling blade pitch angle reference rate signal (98) with an estimated acceleration signal (255) generated by filtering (250, 252, 254) the blade pitch angle reference signal (40) with the following transfer function

$$\frac{(KA)^2}{K\{(TA)S + 1\} \{(M/K)S^2 + (D/K)S + 1\}}$$

3 Claims, 2 Drawing Figures



WIND-FORCE TURBINE SYSTEM FOR ELECTRIC POWER GENERATION**Publication number:** JP58178885 (A)**Publication date:** 1983-10-19**Inventor(s):** JIYOSEFU MAIKERU KOSU; JIYON PIITAA PATORITSUKU;
KAAMITSUTO AIBUAN HAANAA**Applicant(s):** UNITED TECHNOLOGIES CORP**Classification:****- international:** *F03D7/04; F03D7/02; F03D11/00; F03D7/00; F03D11/00;* (IPC1-7): F03D7/04**- European:** F03D7/02; F03D7/02D; F03D11/00**Application number:** JP19830046980 19830318**Priority number(s):** US19820364707 19820402**Also published as:** GB2117934 (A) ZA8301632 (A) US4435647 (A) SE8301552 (L) NO830945 (A)

more >>

Abstract not available for **JP 58178885 (A)**Data supplied from the **esp@cenet** database — Worldwide

⑫ 公開特許公報 (A)

昭58—178885

⑤ Int. Cl.³
F 03 D 7/04

識別記号

庁内整理番号
7719—3H④ 公開 昭和58年(1983)10月19日
発明の数 1
審査請求 未請求

(全 10 頁)

⑭ 発電用風力タービンシステム

⑯ 特 願 昭58—46980

⑰ 出 願 昭58(1983)3月18日

優先権主張 ⑱ 1982年4月2日 ⑲ 米国(US)
⑳ 364707㉑ 発 明 者 ジョセフ・マイケル・コス
アメリカ合衆国マサチューセツ
ツ州ホリヨーク・リン・アン・
ドライブ5㉒ 発 明 者 ジョン・ピーター・パトリック
アメリカ合衆国コネチカット州
サウス・ウインザー・マウンテ

ン・ドライブ68

㉓ 発 明 者 カーミット・アイヴアン・ハー
ナー
アメリカ合衆国コネチカット州
ウインザー・ダイアナ・レーン
7㉔ 出 願 人 ユナイテッド・テクノロジーズ
・コーポレイション
アメリカ合衆国コネチカット州
ハートフォード・フィナンシャ
ル・プラザ1

㉕ 代 理 人 弁理士 明石昌毅

明 細 書

1. 発明の名称

発電用風力タービンシステム

2. 特許請求の範囲

発電用風力タービンシステムであって、
塔と、前記塔に配置されており、軸線の周りに回転可
能に配置されたブレードとブレードピッチ角変更
機構とを含んでいるロータと、前記風力タービンシステムにより発生された実
際トルク／動力を示す実際トルク／動力信号を与
えるための手段と、所望の発生されたトルク／動力を示す基準トル
ク／動力信号を与えるため、且前記実際トルク／
動力信号と前記基準トルク／動力信号との間の差
の関数としてのブレードピッチ角基準信号を与
えるための信号処理手段とを含んでいる発電用風力
タービンシステムに於て、前記ブレードピッチ角基準信号の減衰された関
数に関係付けられた減衰信号成分と、前記実際トルク／動力信号と前記基準トルク／動力信号との
間の差の前記関数であるトルク／動力制御信号成
分との組合せとして前記ブレードピッチ角基準信
号を与えるための手段を前記信号処理手段が含ん
でいることを特徴とする発電用風力タービンシス
テム。

3. 発明の詳細な説明

本発明は塔に取付けられた風力タービン発電シ
ステムに係り、一層詳細には、塔の一次共振振動
数を減衰させることができ、且定格トルクまたは
力を維持するようにロータブレード角を調節する
ことができる風力タービンシステムに係る。風力は低コストの電気エネルギー源であるが、風
力タービンの作動が風の条件によって左右される
ことが欠点である。風力タービン発電システムを
有用且経済的に実現可能にするためには、広範囲
の風条件に亙りまた大部分の時間に亙り風力ター
ビンの作動を保證することが必要である。従って、
風力タービンは典型的に(しばしば“風エネルギー
ファームス”と呼ばれるクラスター内で)卓越風条

件が比較的好都合な場所、即ち全時間中のかなり大きな部分を占める時間に互り十分な風速が得られる場所に配置される。しかし、風が有用な発電のために十分な強さである時、風は全時間中のすくなくならざる部分を占める時間中は突風状態であることが多い。

効率的な風力発電を行うためには、非常に大きなブレード（全長30乃至100mのオーダのブレードの対）が非常に高い（高さ30m～90m）の塔の頂部に取付けられている。風力タービンは（歯車装置及び弾性的連結軸を介しているとはいえ）発電機及び配電系統に直接連結されているので、電力出力を所望のレベルに維持するためには（そして配電系統に供給される全エネルギーに寄与するためには）、風力タービンにより発生される動力への予測不能な突風及び乱流の影響に合せてブレード角を調節する必要がある。従って、発電用風力タービンシステムでは、風力タービンロータの所望のロータ軸トルク若しくは発電機により発生される電力が監視され、これらの因子の何

- 3 -

一次塔共振が励振される。

ブレードへの（風力タービンロータの回転軸線に対して平行なブレードに作用する風により生ずる）推力は風の方向に風力タービン装置を加速させようとする力である。従って、風力タービン塔の頂部は（定常状態条件で）塔スチフネスに関係して塔構造内に生ずる応力により推力が平衡される位置をとろうとする。もし風速が変化すると（突風）、塔の頂部に配置されている装置への正味の力が変化し、塔に風力と平行な方向に後方及び前方への揺れ（振動）が惹起される。風速が定格動力を生ずる風速よりも低い時には、ロータブレード角は固定されていても良いし、またロータブレード角は風速が変化するにつれてエネルギー捕捉を最適化するべく僅かに調節されても良い。ブレード角が固定（またはほぼ一定）の場合には、ブレードへの推力（風力と平行な力）は風速の増大に伴って増大し、従って塔の頂部の運動は塔に（塔の構造減衰と同様に）正の空気力学的減衰を与えることになる。このような場合、突風による

- 5 -

れかの変動が、定格風速及びそれ以上の風速に対して定格電力を維持するようにロータブレードのピッチ角を調節するのに用いられている。トルク及び動力は発電機の回転速度により直接的に関係付けられているので、これらの用語は互いに交換して使用可能であり、ここではトルク／動力として記載されている。最大効果は、ブレードが低ピッチを有する（ブレード面がロータ軸に対して垂直である）時に生じ、また最小効果は、ブレードが約90°の最大角度にある（ブレード面がロータ軸に対して基本的に平行である）、即ち“フェザー”されている”と呼ばれる状態の時に生ずる。この形式のブレード角制御システムは本願の発明者により発明された米国特許第4,193,005号明細書に開示されている。

非常に大きなブレード、軸及び歯車装置、発電装置及び頂部に配置された種々の制御及び保護装置を有する高い風力タービン支持塔は必然的に、或るスチフネス定数及び或る構造減衰比を有する片持ちされた質点である。従って、力が加わると、

- 4 -

増分力に応答して、塔にその一次曲げモードで生ずる振動は減衰され、従って殆ど問題とならない。定格風速（定格動力を生ずる風速）以上では、動力制御部が、力またはトルクを一定に維持するようにロータブレード角を調節するべく、突風または乱流により惹起される動力またはトルクの変動に反応する。風速が増大するにつれて、もし動力が一定に保たれていれば推力は本質的に減衰する。従って、突風に応答して動力を一定に維持するブレード調節の結果として本質的に逆方向の増分推力が生ずる。この方向は塔に負の空気力学的減衰を与える方向である。この負の減衰は塔の構造減衰から差引かれ、その結果塔の振動が増大する。最大風エネルギー捕捉用に設計されており、開じた動力制御ループを有する風力タービンでは、動力を制御される作動中に負の減衰が構造減衰を超過する可能性がある。これは塔に正味の負の減衰を生ずるので、塔は不安定になる（塔の運動がその各サイクルで一次塔共振振動数で増大する）。実際、詳細な解析によれば、塔とトルク／動力制御

- 6 -

部との間の相互作用は数十年からほんの数年のオーダーへの塔の疲労寿命の著しい短縮を招く。

この問題を考察するに当って最初に思い付く方法は、ノッチ・フィルタを利用して、塔及びその装置の一次曲げモード振動数に関係するブレード角指令振動数でブレード角補正の度合を著しく減ずる方法である。しかしこの方法は、動力制御ループの応答性を減ずるので、発生される動力に大きな過渡的誤差を招く。塔に有効な減衰を与えるため塔の曲げからとられる信号にブレード角ピッチ変更レートが増され得ることも示唆されている。しかしこのような示唆からは何も得られていない。

本発明の目的は、風力タービン塔に適当な正の減衰を与えること、また同時に乱流に起因するトルクまたは動力の変動を最小化するためのブレード角の調節を許すことである。

本発明によれば、塔の頂部に配置されており乱流中に定格トルクまたは動力を維持するためロータブレード角を調節する制御部を有する風力タービン発電システムは、ブレード角基準信号の被減

— 7 —

本発明によれば、塔とそれに関係付けられたブレード角制御システムとの間の結合に起因する風力タービン塔の一次曲げモード応答が、発電性能への影響を最小に留めて、有意義に減ぜられ得る。本発明は、制御塔の頂部に追加的な動的要素なしに、回路の簡単な追加またはブレード角を制御するコンピュータのプログラムの簡単な変更により実現されている。

本発明の上記及び他の目的、特徴及び利点は、以下にその好ましい実施例を図面により詳細に説明する中で一層明らかになる。

以下には、本発明の典型的な実施例が前記米国特許第4,193,005号明細書に開示されている形式の風力タービン用多重モード制御システム内に適用されるものとして開示されている。先ず、前記特許に開示されている制御システムの一般的な説明を行う。本明細書の図面に参照符号10~104を付して示されている要素は前記特許の明細書中に同一の参照符号を付して示されている要素と同一である。前記特許の明細書中の図面

— 9 —

波関数としてロータ軸線と平行な塔の解析的に推定された運動を示す被予測運動信号にตอบสนองして塔の正の空気力学的減衰を与えるようにタービンロータブレード角を調節するブレード角指令成分を与える。

更に本発明によれば、追加的な正の減衰が、伝達関数

$$\frac{KAS}{K[(TA)S+1]\{(\overline{M}/\overline{K})S^2 + (\overline{D}/\overline{K})S + 1\}}$$

によりブレード角基準信号に関係付けられたブレード角基準信号成分により与えられている。ここに、KAは所望のゲイン、TAはブレードピッチ角変更機構の遅れの近似値、また \overline{K} 、 \overline{M} 、 \overline{D} はそれぞれ風力タービン塔の stiffness、質量及び減衰比の計算された近似値である。

本発明はアナログ形式で実施されても良いし、また専用デジタル・ハードウェアまたは適当なコンピュータ例えばマイクロプロセッサのソフトウェアによりデジタル形式で実施されても良い。

— 8 —

との対応関係についての説明は、括弧して挿入されている。その後、塔と制御部との間の相互作用の問題を解析し、また本発明の実施例を説明する。

図面を参照すると、二つの直径上に延びる互いに同一のロータブレード10を有する典型的な風力タービン構造が示されている。ロータブレード10は典型的に全長30m~100mであり、支持塔12に取付けられている。風力タービンの構成要素である機械的要素、制御装置及び発電装置は塔12により支持されているナセル14の中に納められている。風力タービン及びその付属装置例えばブレードを卓越風の方向に向けるためのヨウ制御部などの構造は全て良く知られており、従ってここではそれらの説明は行わない。

タービンロータブレード10は、低速連結軸18を通じて発電装置20~32に連結されているハブ16の上に取付けられている。発電装置は歯車装置、高速軸、同期発電機、発電機を負荷(例えば電力会社の配電系統)及び位相同期化回路に

— 10 —

接続するための装置などを含んでいて良い。発電装置20～32は、発電機が配電系統にオンラインで接続されている状態を示すオフライン/オンライン信号を信号導線34上に与える。

前記特許の第3図に示されているブレードピッチ角制御部36は導線40を経て電気・油圧ピッチ変更機構38に所望または基準ブレード角信号BRを与える。ピッチ変更機構38はブレード10に、導線40上の基準ブレード角信号BRに等しい実際ブレード角(前記特許中のBP)をとらせる。ブレードピッチ角の瞬時作動パラメータを示す信号がブレードピッチ角制御部36に与えられる。ハブ16と組み合わされているロータ速度トランスデューサ46は導線48上にロータ速度信号NRを与える。同発電機の軸に連結されている同様のトランスデューサ50は導線52上に発電機速度信号NGを与える。軸18または発電装置内の適当な軸に配置されたストレーンゲージを含んでいて良いトランスデューサ54は導線56上に軸トルク信号QSを与える。導線56上の

— 1 1 —

がブレード角を徐々に減じて、ブレードの失速も大きな加速度範囲の誘発もなしに、ロータ及び発電機を定格速度に向けて加速させる。一旦風力タービンが必要な発電電力の周波数に所望のように関係する角速度に到達すると、次いで速度は、発電機が最終的に接続される配電系統の電力の周波数と同期して発電装置20～32が作動するようになるまで僅かに変更され得る。発電機が配電系統に接続された後、制御部は始動及び停止制御部78～94から軸トルク制御部100(前記特許の第6図に詳細に説明されている)へ切換えられる。また、もし風力タービンが停止されるべきでなければ、始動及び停止制御部78～94に戻って、ブレードを超過減速度をなしにフェザ状態にもたす。前記特許に説明されているように、導線95上の最小ブレード角レート信号BMNは、始動中のロータ角加速度の固定レートを維持するため、無負荷運転中の適正な角速度を維持するため、また停止過程中のロータ角減速度の固定レートを維持するために必要なブレード角の変化を生

— 1 3 —

軸トルク信号は他の適当な仕方、例えば周知のように軸の周縁上の軸線方向に変位した点の相対的位置を検出することにより与えられても良い。また、ブレードピッチ角制御部36は、基準無負荷ロータ速度並びにロータ加速度に関する制限を示す複数の固定または可変基準信号と、風力タービンが作動状態またはフェザ状態及び本質的に静止状態にあるべき時を示す始動/停止信号を与えられている。これらの信号については前記特許の第2図に一層詳細に説明されている。ナセル14に配置されている風速センサ74は導線76上に平均風速VWを示す導線を与える。

風力タービンが不使用状態にある時には、ブレード10は最大ピッチ角(90°)に、即ちフェザ状態におかれている。従って、ブレードはハブ16に本質的にトルクを与えない。風力タービンが使用状態に入れている時、始動信号により始動及び停止制御部78～94(前記特許の第4図及び第5図に一層詳細に説明されている。但し前記特許ではこのような名称は付けられていない。

— 1 2 —

じさせる。

発電装置20～32が配電系統の電圧と同期している時(同一周波数、振幅及び位相)、発電装置は配電系統に接続されており、風力タービンがオンラインであることを示す信号が導線34上に現れる。オンライン動作とオフライン動作との間の移行は、オフライン/オンライン信号34に回答するモード選択器96(前記特許の第7図に一層詳細に説明されている)により行われる。この切換の際、モード選択器96は導線98上の軸トルクブレード角レート信号BQ(以下に説明する本発明の改良の効果を減ずる)を導線102と見え、そこでこの信号がブレード角基準レート信号BRとなるが、風力タービンがオフラインである時には、導線34上の信号が存在しないので導線102は導線95の最小レート信号BMNに回答するようになる。導線98のトルクブレード角レート信号はカットインとカットアウトとの間の全ての風速に対しては定格動力まで風力タービンから最大動力を取出すように作用し、定格風速及びそれ

— 1 4 —

以上の風速では、導線98上の信号は、被検出軸トルク（または動力）を基準（定格）値に維持するように変更される。

選択された所望のレート信号、導線102上のブレード角基準レート信号 $\dot{B}R$ は積分器104（前記特許の第8図に一層詳細に説明されている）により導線40上のブレード角基準信号BRに変換される。積分器104は、導線40上の信号の変化のレートを制限し、且その最大の正及び負の大きさを制限する装置を含んでいる。

参照符号10～104を付されている要素についての以上の説明は、本発明が取入れられ得る公知の典型的な制御システムについての説明である。この説明は前記特許の要約である。これまでに簡単に説明したように、支持塔12の一次曲げモードと風力タービン制御システムとの間の不利な結合は、本発明によれば、追加的なブレード角基準指令成分を与えて、増分推力変化を塔の頂部の速度と同相にし、それにより塔に追加的な正の空気力学的減衰を与えるという方策を通じて軽減され

- 15 -

方向に関係している。増分加速度226の積分228により増分速度 \dot{Z} 229が得られる。

増分速度229の積分230により塔の頂部に於ける装置の増分位置231が得られる。増分位置231は、Z方向の歪が0である範囲で塔の静止位置に近接しまたはそれから離隔する方向の変化を表している。もし塔が曲げられて、その装置が静止位置から一層離隔すると、スチフネスは推力への抵抗と等価である。これがブロック232により表されており、ここでKTは塔の有効スチフネスを表している。

塔229の増分速度は、周知のようにして、塔233の有効減衰比DTにより等価な負の推力に関係付けられている。しかし、塔229の運動により相対風速234にも変化が生ずる。即ち、もし風速が増加すれば、風が実際には塔を+Z方向に押すので、ブレード自体への正味相対風速は、塔がZ方向に運動し得ないとした時の値よりも小さい。簡単化され線形化された解析のため、塔へのこのような突風の作用は、第1図の制御システ

- 17 -

る。これにより、ブレードの荷重への振動により誘起される塔の振動の減衰と、予測不能な乱流などに起因するブレード角の釣合のとれた補正とが保証される。

次に、第2図を参照して、これまでに暗に言及した風力タービン塔とブレード角制御部との間の結合に伴う問題を線形化して解析する。第2図で、塔装置220は塔12、ナセル14及び塔の頂部に配置された他の装置の全て（ブレード10を含む）を表す。第2図はブレードへの増分推力（ロータハブ軸と平行な軸線方向）の結果としての塔の応答を表している。増分推力 ΔP は導線221により表されており、この推力の作用は導線223により示されている減衰の作用と導線234により示されているスチフネスの作用とにより減ぜられている。導線225により表されている正味の有効推力は塔の質量227と反対の関係で導線226により表されている加速度に変化を生じさせる。ここでは \ddot{Z} として表されている加速度はハブ軸線の方向であり、その向きは増分推力 ΔT の

- 16 -

ム、そのブレードピッチ角制御部36及びピッチ変更機構38により与えられる補正作用を含めて、（後で説明するように）理想化された形態でブロック235により表されている。

推力（ブレードの回転軸線と平行にブレードに作用する力）はブレード角（B）、風速（VW）及びロータ速度（NR）の関数である。定常状態動作点の周りの小さな振動に対して、推力（ ΔT ）の変化は次式で表される：

$$(1) \quad \Delta T = \frac{dT}{dB} \Delta B + \frac{dT}{dVW} \Delta VW + \frac{dT}{dNR} \Delta NR$$

同様にロータトルクの変化（ ΔQR ）は次式で表される。

$$(2) \quad \Delta QR = \frac{dQR}{dB} \Delta B + \frac{dQR}{dVW} \Delta VW + \frac{dQR}{dNR} \Delta NR$$

式（1）及び（2）で、“d”は偏微分を表している。大きな配電系統に電力を供給する発電機的作用は、定格速度で無限大のはずみ車を駆動す

- 18 -

る電動機に模擬され得る。そのために、またロータと発電機との間の軸に十分な弾性が存在するという事実のために、風力タービンロータ速度は本質的に一定($\Delta N R = 0$)である。理想的な(動力またはトルクの変化に対して完全で瞬間的なブレード角調節を行い得る)動力制御部に対しては定格風速以上での作動中、ロータ速度は同じく一定($\Delta Q R = 0$)である。従って、式(2)から次式が得られる。

$$(3) \quad \frac{dQR}{dB} \Delta B = - \frac{dQR}{dVW} \Delta VW$$

また

$$(4) \quad \Delta B = - \frac{dQR/dVW}{dQR/dB} \Delta VW$$

式(4)を式(1)に代入すると、負荷項($\Delta N R = 0$)の場合には次式が得られる。

$$(5) \quad T = - \frac{dT}{dB} \cdot \frac{dQR/dVW}{dQR/dB} \Delta VW + \frac{dT}{dVW} \Delta VW$$

- 19 -

$$(9) \quad \frac{\Delta T}{\Delta VW} = \frac{dT}{dVW} - \frac{dQR/dVW}{dQR/dB} \left(- \frac{dT}{dB} \right)$$

第2図を参照すると、式(1)は推力作用部分231のブロック240~243の中に示されており、これは理想化された制御部235と併せて、ロータ速度の変化($\Delta N R$)が0であるという仮定の下に式(9)をも表している。尚、負の ΔT 成分は(もし第2図で導線221に於ける ΔT に加算されるならば)、導線223上の正の構造減衰と同一極性であり、それと加算的である。

こうして第2図は、塔の動特性を含む塔への突風の作用と、ブレードへの突風の作用と、その突風の結果としてブレード角を変更する理想化された動力制御部を通じて作動する釣合のとれたトルク/動力の変化の作用とを表している。塔の構造的特性と、風力タービンの空気力学的特性と、理想化された制御部の制御応答特性とを含む様々な塔及び制御部についての解析の結果から、突風の結果としての増分推力の合計作用は負の減衰を生じ、従って塔が不安定になることが示される。

- 21 -

$$(6) \quad \Delta T = \left\{ \frac{dT}{dVW} - \frac{dQR/dVW}{dQR/dB} \left(\frac{dT}{dB} \right) \right\} \Delta VW$$

従って、固定ブレード角 $\Delta B = 0$ 、に対しては

$$(7) \quad \frac{dT}{dB} \Delta B = 0$$

となるので、このような場合の塔の空気力学的減衰は次式で簡単に表される：

$$(8) \quad \frac{\Delta T}{\Delta VW} = \frac{dT}{dVW}$$

式(8)の空気力学的減衰は塔の正の構造減衰と同一極性であり、それに加算される。

他方、使用されている実際の動力制御部では、即ちブレード角が固定されていない場合には、塔への空気力学的減衰は遙かに複雑である。理想的な動力制御部を考えると、式(6)から、合計の空気力学的減衰は次式で表される：

- 20 -

本発明の一つの実施例によれば、突風のトルク/動力制御部の反応(即ち第2図の235)に起因する増分ブレード角成分から生ずるであろう塔運動の推定値に基いて、塔運動にその一次曲げモードで追加的な減衰を与えるように、補正ブレードピッチ角基準レート信号成分が、トルク/動力を制御する導線98上のブレードピッチ角基準レート信号BQと加算されている。

第1図を参照すると、導線40上のブレードピッチ角基準信号は、電気・油圧式ピッチ変更機構38の実効遅れを近似する特性を有する遅れフィルタ250に与えられている。遅れフィルタ250は導線251上の被減波ブレード角基準信号(BLn)を、ブレード角に関するトルクの偏微分と等価なゲインを有する(従ってまた第2図のブロック241で表される)増幅器252に与える。増幅器252は導線253上に、第2図の導線221に於ける増分推力信号(ΔT)と等価な増分推力信号を与え、この信号は制御塔構造のモデルであるフィルタ254を通して導線255

- 22 -

上に補正ブレードピッチ角基準レート信号成分を与え、その結果生ずる増分推力成分が先に第2図で説明したように塔に正の空気力学的減衰を与える。フィルタ254内に示されている印 \bar{M} 、 \bar{K} 、 \bar{D} は(第2図の塔装置220内に示されているように)風力タービン塔の実際質量、ばね定数及び減衰比の計算され推定された等価量である。アナログ形式で実施するため、信号導線253上の信号は加算点256を経て $1/\bar{M}$ のゲインを有する増幅器257に与えられ、その導線250上の出力は積分器258に与えられ、次いで導線259を経て第二の積分器260に与えられる。導線259上の信号はゲイン \bar{D} を有する増幅器261に与えられ、その導線262上の出力は増幅器の加算点256に与えられる。同様に導線263上の積分器260の出力はゲイン \bar{K} を有する増幅器264に与えられ、その導線265上の出力も増幅器の加算点266に与えられる。実際の装置ではゲイン252は所望の作用を得られるように調節され、また通常は dT/dB よりも高い。フィル

- 23 -

ログラムに本発明の機能を追加するために必要とされるプログラムは下記のように表され得る。

フィルタ・プログラム

1. もしオンラインでなければエンドヘスキップ
2. $B L n = B L m + T A (B R - B L m)$
3. $B L m = B L n$
4. $\Delta T = d T / d B * B L n$
(または $\Delta T = K A * B L n$)
5. $\bar{T} = \Delta T + \bar{D} * \dot{Z} n + \bar{K} * Z n$
6. $\ddot{Z} n = \bar{T} / \bar{M}$
7. $\dot{Z} n = k 1 * \dot{Z} n + \ddot{Z} n$
8. $Z n = k 2 * \dot{Z} n + Z m$
9. $\dot{Z} m = \dot{Z} n$
10. $Z m = Z n$
11. $\dot{B} Q' n = \dot{B} Q n - \dot{Z} n$
12. エンド

フィルタ・プログラムの第一ステップは、風力タービンがオンラインにない時(即ちシステムがオンラインにあることを示す導線34上の信号と等価なディスクリット・フラグが存在しない時)

- 25 -

タの所望の合計ゲインはここでは $K A$ として示されている。勿論、ゲイン252は周知の通常の仕方遅れフィルタ250でも与えられる。第1図に別に示されている遅れフィルタ250のプロック内に記入されている伝達関数からそれにより実行されるべき機能は明らかである。

第1図に示されている遅れフィルタ250及びゲイン252と組合せて塔モデル254を含むフィルタ全体が次式の伝達関数を有する:

$$(10) \quad \frac{(K A) S^2}{K \{ (T A) S + 1 \} \{ (M / K) S^2 + (D / K) S + 1 \}}$$

ここで、 $K A$ は所望の度合の塔減衰を与えるべく調節され得る合計ゲインである。実際には、本発明は導線40上のブレード角基準信号 $B R$ を遅らせて式(10)の伝達関数を与え得る任意の信号処理手段に与えることにより簡単に実施され得る。例えば、適当にプログラムされたコンピュータを用いて実施される風力タービンブレードピッチ角制御システムでは、前記特許の制御システムのプ

- 24 -

には何時でもエンドヘスキップする。プログラムの第二ステップは遅れアルゴリズムにより被減放ブレード角基準信号を生ずる。ここで、 $T A$ はコンピュータのサイクルタイム(例えば50ミリ秒のオーダーであって良い)に関係付けられた第1図中のフィルタ250の時定数の等価量である。プログラム中で、“ n ”は現在のサイクルに於けるそれぞれの値を表しており、他方“ m ”はその次のサイクルに於ける関係付けられた値を表している。プログラムの第三ステップは以後のサイクルで使用するため被減放ブレード角基準信号の値を更新する。プログラムの第四ステップは第1図中の増幅器252ゲイン(またはオーバオール)の所望のゲイン $K A$)を生ずる。プログラムの第五ステップは加算点256の加算機能に相当する。尚、フィードバック・システムをコンピュータで実現する場合に常にそうであるように、フィードバック値は前回サイクルで得られた成分値により発生され得る。これらの値はコンピュータのサイクルタイム中に極く僅かしか変化しないので、これは

- 26 -

認められるほどにはオーバオールの影響しない。第6ステップは増幅器257のゲインを生じ、また第7ステップは積分258の機能を有し、ここで値 k_1 は周知のようにコンピュータのサイクルタイムに対して等価な時定数である。同様に第8ステップは第1図の積分260の機能を有し、また第9及び第10ステップは以後のサイクルで使用するため運動及び間隔因子の値を更新する。第11ステップは第1図中の加算点266と等価な加算を行いまた第12ステップは周知の仕方で作動の終了を示す(プログラムの他の部分に戻る)。典型的な場合には、有意義な自己診断、故障モード補正及び停止制御を行い得るデジタルコンピュータ内でブレード角基準信号(第1図の導線40)が発生されることが好ましい。このような場合、本発明はこのようなデジタルコンピュータ内の前記のフィルタ・プログラムにより実施されることが好ましい。アナログ・システム(第1図に示されている形式のもの)がブレード角基準信号を発生するのに用いられる場合には、第1図

- 27 -

導線259上の被予測速度信号が、被予測加速度信号と積分器104の前のブレードピッチ角基準レート信号との加算の代りに、積分器104の出力と加算されることもできる。何れの場合にも、ブレードピッチ角基準信号に対する減衰信号成分の関係は前記の式(10)で演算子 S^2 を S に置換えたもので表される。本発明は、所望であれば、オフライン・モードでも用いられ得る。重要な因子は、予測された運動がブレードピッチ角成分を与え、その結果正の空気力学的減衰に対する推力成分が生ずることである。

本発明をその典型的な実施例について図示し説明してきたが、本発明の範囲内で上記及び他の種々の変形、省略及び追加が行われ得ることは当業者により理解されよう。

4. 図面の簡単な説明

第1図は本発明の実施例を取入れたブレードピッチ角制御システムを含む風力タービンの簡略化されたブロック図である。

第2図は風力タービン塔の構造的特性及びそれ

- 29 -

に示されている形式であるにせよ他の形式であるにせよ前記の式(10)の伝達関数を実現し得るアナログ装置が用いられ得る。または、適当な形式の専用デジタル装置が、適当な時には常に用いられる。それらの全ては、以上の開示に基いて、容易に入手し得る装置及び方法を用いて当業者により容易に実現され得る。

本発明を別の観点から見れば、ブレード角の変化の結果として生じ得る増分塔運動の予測された推定量が得られている。これについては本願と発明者、出願日付及び発明の名称を同じくする昭和58年特許願第 号明細書に記載されている。それによれば、導線255上または第6ステップ内の \dot{Z} 信号は前記の式(10)の伝達関数を有するブレードピッチ角基準信号の濾波により発生された被予測加速度信号と看做され得る。

尚、導線98上のトルク/動力調節成分と導線255上の減衰成分との導線98A上の和の積分(104)は速度(\dot{Z})の関数である減衰のためのブレード角基準信号成分を生ずる。従って、導

- 28 -

への推力の作用の幾つかを説明するための信号流れ図である。

1…加速度計、4…帯域通過フィルタ、7…増幅器、9…加算点、10…ブレード、12…支持塔、14…ナセル、16…ハブ、20~32…発電装置、36…ブレードピッチ角制御部、38…ピッチ変更機構、46…ロータ速度トランスデューサ、50…発電機速度トランスデューサ、54…トルク・トランスデューサ、74…風速センサ、78~94…始動及び停止制御部、96…モード選択器、100…軸トルク制御部、104…積分器、220…塔装置、235…理想化された制御部、236…推力作用部分、250…遅れフィルタ、252…増幅器、254フィルタ、266…加算点

特許出願人 ユナイテッド・テクノロジーズ・コーポレーション

代理人 弁理士 明石昌毅

- 30 -

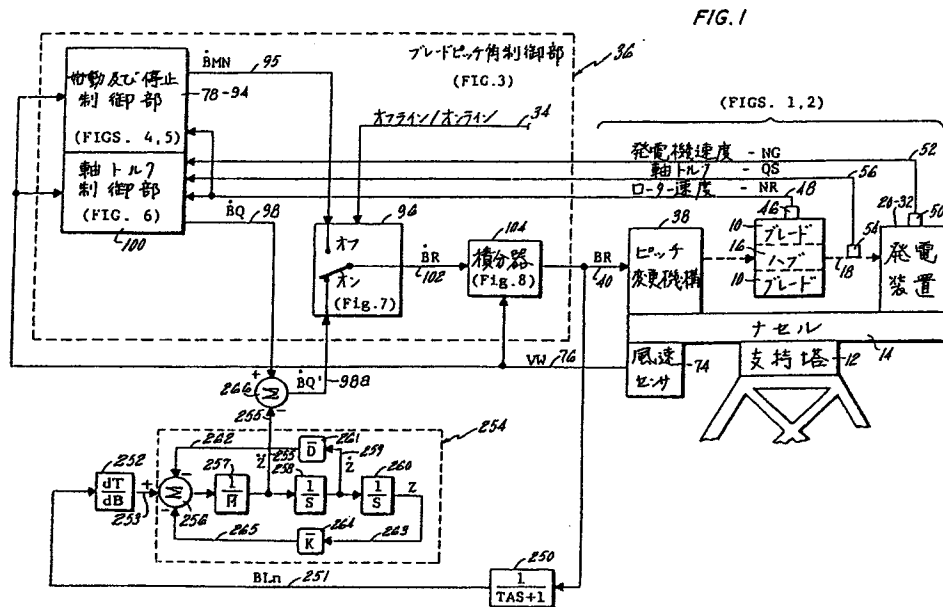
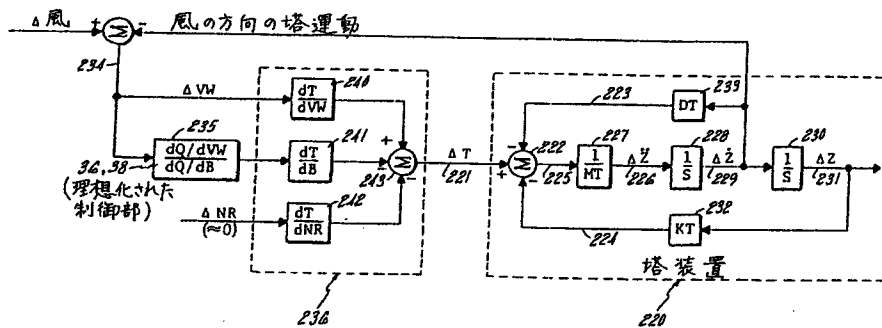


FIG. 2



(白 発)

手 続 補 正 書

昭和58年4月14日

特許庁長官 若 杉 和 夫 殿



1. 事件の表示 昭和58年特許願第046980号

2. 発明の名称 発電用風力タービンシステム

3. 補正をする者

事件との関係 特許出願人

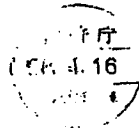
住 所 アメリカ合衆国コネチカット州、ハートフォード、
フィナンシャル・プラザ 1

名 称 ユナイテッド・テクノロジーズ・コーポレーション

4. 代 理 人

居 所 〒104 東京都中央区新川1丁目5番19号
茅場町長岡ビル3階 電話551-4171

氏 名 (7121) 弁理士 明 石 昌 毅



5. 補正命令の日付 白 発

6. 補正の対象 明細書

7. 補正の内容 明細書第28頁第11行～第12行の「昭和58年特許願
第 号」を『昭和58年特許願第046979号』と
補正する。